

oblikovanju polimernih injekcijski prešanih otpresaka. Završna obrada *metaliziranja* sada je sastavni i jeftin dio samog procesa injekcijskog prešanja.

Metalna folija polaže se u kalupnu šupljinu na sličan način kao i pri bilo kojem drugom postupku natražnoga injekcijskog prešanja za dekoriranje površine polimernih otpresaka. Pri novom postupku, kada se metalna folija (debljina do 0,3 mm) uloži u kalup, preko nje se na polimerni otpresak mogu preslikati sve strukture sa stijenke kalupne šupljine kao što su logotipi i/ili dekorativni elementi (slika 20). Tijekom ciklusa natražnoga injekcijskog prešanja, još dok je kalup zatvoren, višak folije odvaja se od otpreska s pomoću ugrađenog alata za štancanje. Alat za štancanje presavlja višak folije oko otpreska te se tako dobiva izvrsna glatkoća rubova bez ikakvih neravnina.

Zahvaljujući visokoj razini integracije postupak natražnoga injekcijskog prešanja metalne folije može zamijeniti postojeće skupe

postupke izradbe. Usto, izravno natražno injekcijsko prešanje metalnih folija nudi prednosti tijekom uporabe i poboljšanje kvalitete. Primjerice, metalna je folija deblja i manje osjetljiva od metalnih slojeva koji se nanose elektroplatingom. Metalna folija također zadržava tipičan doživljaj osjeta metalne hladnoće pri dodiru. Usto, veza između metalne folije i plastomernog materijala vrlo je jaka i postojana. S druge strane, primjerice prevlačenje metala bitno je teže, a zahtijeva dodatne operacije kao što su izradba navoja ili lijepljenje.

Uz, u primjeni provjerene aluminijske folije i folije od nehrđajućih čelika, trenutačno se radi na ispitivanjima primjene folija od ostalih metala. Kako bi se ostvarila visoka dimenzijska stabilnost takvih otpresaka i smanjilo njihovo vitoperenje, polimerna komponenta takvog otpreska uglavnom se izrađuje od ojačanih i/ili punjenih plastomera. Kako bi se omogućila sigurna veza između metala i plastomera, razvijen je poseban adheziv.



SLIKA 20 - Nosač posjetnica načinjen izravnim natražnim injekcijskim prešanjem na aluminijsku foliju (0,2 mm)

Georg Kaufmann Press Release, 5/09.

## Kompoziti – perspektiva i razvoj vjetroelektrana<sup>1</sup>

Priredila: Tatjana Haramina

Energija vjetra, kao obnovljivi izvor energije koji minimalno opterećuje okoliš, najbrže je rastući sektor energetike, s prosječnim prirastom od 23 % godišnje u posljednjih 10 godina. Ključne komponente vjetroturbine izrađuju se pretežno od polimernih kompozita, a potreba za većim turbinama obećava i veću količinu kompozita po turbini.

Najvažnije zemlje u ovom sektoru, SAD, Španjolska, Kina, Njemačka i Indija, zajedno su u 2007. proizvele 77,3 % svjetske proizvodnje. Dok je u Njemačkoj rast usporen, očekuje se od SAD-a, Kine i Indije da preuzmu vodstvo.

Budući da vlade tih država podupiru taj energijski izvor premijama i financirajući iz proračuna istraživanja obnovljivih izvora energije i štedljivih sustava, očekuje se da će se i vjetroelektrane uspjeti održati. Usto, nestabilna cijena fosilnih goriva, uzrokovana sociopolitičkim promjenama, smanjila je razliku u troškovima proizvodnje i prisilila vlade da prate kretanja na području energije vjetra.

Proizvođači i dobavljači u industriji kompozita ovdje imaju veliku priliku proširiti posao.

Potrošnja kompozita na tržištu energije vjetra je tisuće tona godišnje i u posljednjih je 12 godina porasla 23 puta. Lopatice turbina i kućišta proizvode se mokrim laminiranjem (e. *wet lay-up*), podtlačnim injekcijskim prešanjem kapljevite smole (e. *Vacuum Assisted Resin Transfer Moulding, VARTM*), laminiranjem preprega (e. *preg lay-up*) i ostalim postupcima praoblikovanja. Proizvodnja turbina podtlačnim ulijevanjem (e. *vacuum infusion*) ili prešanjem preprega (e. *preg moulding*) intenzivno se razvija u laboratorijima, a proizvođači traže način da skrate cikluse i snize troškove. Laminiranje uz pomoć robota, poboljšavanje završne obrade, dvodijelne ili segmentirane lopatice, kao i proizvodnja na mjestu potencijalne su mogućnosti sniženja troškova logistike i laboratorija. Novi postupci prešanja preprega poboljšavaju izgled površine. Dobavljači smola i preprega uvode materijale koji brže umrežuju, i to pri nižoj temperaturi.

S porastom kapaciteta vjetroelektrana javlja se trend većih i lakših lopatica. Unatoč visokim troškovima i nedovoljnoj raspoloživosti na tržištu, očekuje se veća uporaba ugljiko-

vih vlakana zbog njihove visoke čvrstoće i male mase u usporedbi sa standardnim E-staklenim vlaknima. S druge strane, kako bi ostala u utrci, tradicionalna E-staklena vlakna kontinuirano se optimiraju i poboljšavaju kemijskim postupcima.

Vjetroturbina se sastoji od nekoliko kompozitnih dijelova, od kojih se najveći udio koristi za lopatice načinjene od staklom ojačane epoksidne smole ili nezasićenog poliestera. Ostali dijelovi turbine, kućišta prijenosa, generatora i ostalih komponenti izrađuju se od ojačanog poliestera. Dominantni je postupak podtlačno ulijevanje, zbog malog udjela šupljina i mogućnosti ravnomjernog natapanja velikih dijelova s kontroliranim udjelom smole, a samim time manja je masa i niži troškovi. Prešanje preprega s tkanjem ili jednosmjernim staklenim vlaknima je skuplje, no konzistencija, dakle zastupljenost čvrste tvari u kapljevina je bolja jer prepreg već sadržava materijal matrice (obično epoksidna smola). Ovisno o veličini lopatice, a neovisno o postupku, izrada traje od 12 do 24 sata. Ove, aerodinamički projektirane lopatice, masenog udjela stakla

70 – 75 %, moraju zadovoljavati vrlo stroge mehaničke zahtjeve poput visoke krutosti, otpornosti na torziju i dinamičku izdržljivost. Uobičajeno su lopatice 20 godina pod visokim statičkim i dinamičkim opterećenjem pri različitim temperaturama. Standardna 35 – 40-metarska lopatica za turbinu od 1,5 MW teži 6 do 7 tona. U početku su bile zastupljene i epoksidne i poliesterske te malo manje zastupljene vinilesterske smole, no kako su rasle lopatice, rasla je i primjena epoksidnih smola. Praobliskovanje poliestera je lakše i jeftinije, ali epoksidne smole rezultiraju boljim mehaničkim svojstvima, posebno višom rasteznom i savajnom čvrstoćom lopatica duljih od 26 m. Za razliku od epoksidnih smola, poliester ne zahtijeva naknadno očvršćivanje, no lopatice su teže. Kao ojačavalo najzastupljenija su E-staklena vlakna, dok se skuplja, ugljikova vlakna upotrebljavaju ograničeno, za postizanje više krutosti i manje mase kod dugih lopatica.

Započinjanje proizvodnje lopatica vrlo je zahtjevno. Potencijalne zapreke su dimenzije dijelova, zahtjevni i konkurentni proizvodni postupci, potreban *know-how*, zatim traži se dobar sustav dostave, globalna prisutnost i velike investicije. Postoji oko 12 globalnih dobavljača vjetroturbina, a četiri najuspješnija drže 72 % tržišta. Većina izrađuje vlastite lopatice, ali neki od njih,

poput *GE Energy*, sklapaju podugovore s proizvođačima kao što su američke tvrtke *Molded Fiber Glass Companies (MFG)* ili *TPI Composites*. Vodeći svjetski proizvođač turbina je danski *Vestas Wind Systems A/S* (23 % tržišta), a slijede *GE Energy*, španjolska *Gamesa*, njemački *Enercon* i *Siemens* te indijski *Suzlon*. Vodeći proizvođač lopatica je *LM Glasfiber A/S* iz Danske, osnovan 1978., koji proizvodi od 8 000 do 9 000 lopatica godišnje i drži 25 % tržišta. *LM* proizvodi poliesterske lopatice podtlakom ulijevanjem. Unatoč nižoj cijeni od epoksidnih, te lopatice posjeduju izvrsne karakteristike. U proizvodnom procesu optimirana je izrada čvrstih, jednoličnih laminata s više brzih očvršćivanja, što skraćuje proizvodnju za nekoliko sati. *LM* proizvodi najdulje lopatice, od 61,5 m, ugrađene u turbinu od 5 MW proizvedenu u njemačkoj tvrtki *REpower Systems*, a teži 17,8 tona (slika 1). Rotor te turbine promjera je 126 metara (slika 2), a tri lopatice pokrivaju površinu gotovo dvostruko veću od nogometnog igrališta. Najvećim se uspjehom *LM*-a smatra uporaba E-staklenih vlakana za lopatice duljine 40 m, gdje se, kako bi se zadovoljili kriteriji krutosti i malene mase, drugdje koriste ugljikova vlakna.

#### KORIŠTEN LITERATURA

1. [www.plastemart.com](http://www.plastemart.com)
2. [www.wind-energy-the-facts.org](http://www.wind-energy-the-facts.org)
3. [www.repower.de](http://www.repower.de)

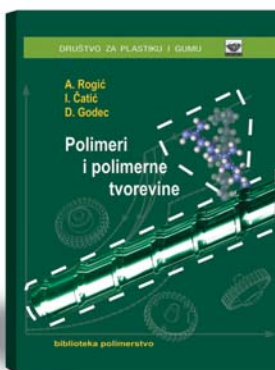


SLIKA 1 - Ispitivanje 61,5 m duge lopatice za rotor promjera 126 m u LM-u<sup>2</sup>



SLIKA 2 - Rotor turbine promjera 126 m<sup>3</sup>

#### A. Rogić, I. Čatića i D. Godeca Polimeri i polimerne tvorevine



Sadržaj: *Predgovor; Uvod; Povijesni razvoj; Sistematika proizvodnje polimernih tvorevina; Polimeri; Teorijske osnove proizvodnje polimernih tvorevina; Oplemenjivanje polimernih tvari; Postupci praobliskovanja; Postupci preobliskovanja; Proizvodnja pjenastih i ojačanih polimernih tvorevina; Obradba odvajanjem čestica; Postupci povezivanja;*

*Postupci oplemenjivanja površine polimernih izradaka; Primjeri uporabe polimernih materijala; Gospodarenje polimernim tvorevinama i polimernim otpadom; Popis upotrijebljene literature; Prilog; Kazalo.*

Knjiga je namijenjena studentima sve brojnijih veleučilišta i učilišta za obrazovanje odraslih čiji nastavni programi uključuju kolegije *Prerada polimera, Tehnologija i/ili Materijali* bilo kao samostalan kolegij ili kao sastavnicu drugoga kolegija. Udžbenik također može biti od koristi prerađivačima polimernih materijala, stručnjacima u gospodarstvu i svima koji žele steći temeljno obrazovanje iz ovog područja.

#### Hrvatsko-engleski rječnik polimerstva autora I. Čatića i R. Čatić

Rječnik sadržava više od 11 600 hrvatskih naziva. Po opsegu je znatno širi u odnosu prema prethodnoj inačici, *Englesko-hrvatskom rječniku polimerstva* objavljenom 2002. Navodimo samo neke pojedinosti iz uvoda tom rječniku koji je zamišljen da bude prije svega koristan stručnjacima s područja

polimerstva, ali i svima koji se bave proizvodnjom, primjenom, ispitivanjima drugih materijala i proizvoda. Uz papirnatu izdanje priložena je i inačica na CD-u.



Cijena je 150 kuna, a za članove *Društva za plastiku i gumu* 100 kuna (ako sami plaćaju). Pri narudžbi više od 5 primjeraka pojedine knjige odobrava se poseban popust. Knjiga se može nabaviti putem e-adrese: [dpg@fsb.hr](mailto:dpg@fsb.hr) ili telefaksom na broj +385 1 615 0081.